Respuestas de aves marinas pelágicas frente al calentamiento ambiental en el mar de Scotia, Antártida

Orgeira, José Luis[1,2]; Mariela del Carmen Alderete[2]

[1] Departamento Biología de Predadores Tope, Aves, Instituto Antártico Argentino, Balcarce 290, (C1064AAF) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

[2] Cátedra Ecología General, Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán, joseluisorgeira@yahoo.com.ar.

➤ **Resumen** — El calentamiento de los océanos y las respuestas del ecosistema marino a estos cambios han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años. Las aves marinas, por su sensibilidad, constituyen una valiosa herramienta para detección y predicción de perturbaciones ambientales. En este trabajo analizamos el comportamiento de seis especies de aves marinas voladoras pelágicas del Mar del Scotia, Antártida, ante cambios climáticos. El estudio fue realizado a bordo de buques comparando cuatro temporadas de verano (1995, 1996, 2010 y 2011), las dos últimas bajo el efecto de fuertes fluctuaciones climáticas. Los resultados mostraron cambios en las distribuciones geográficas y descenso en las abundancias de las especies en 2010 y 2011, en coincidencia con incrementos en las temperaturas de aire y de la superficie del mar. Se sugiere que ello se debe a la baja abundancia y disponibilidad de plancton provocado por la ausencia de hielo y el calentamiento de la columna de agua, ya que las aves consumidoras de krill fueron las más afectadas.

Palabras clave: Aves marinas, Antártida, cambio climático.

➤ **Abstract** — "Responses of pelagic seabirds to environmental warming in Scotia Sea, Antarctica". Southern Oceans are major components of the global climate system in which the slightest variation in temperature leads to unpredictable regional variations. Because of their sensitivity, seabirds may reflect these changes within a reproductive season, thus becoming an invaluable tool for detection and prediction of environmental perturbations. Monitoring of the marine ecosystem was carried out on board ships in the Scotia Sea, Antarctica, comparing four summer seasons: 1995, 1996, 2010, and 2011, the last two years under the influence of strong environmental fluctuations. The aim was to study abundance variations in six seabird species in the Scotia Sea, Antarctica, expecting that these may have been affected due to important variations in climatic parameters. Results showed a sharp decline in the abundance and changes in the geographic distributions of species in 2010 and 2011, coinciding with increases in air and sea surface temperatures. It is suggested that this might be due to seafood reduction and low availability caused by changes in water properties since krill-eater seabirds were the most affected.

Key words: Seabirds, Antarctica, climate change.

INTRODUCCIÓN

Los efectos que las oscilaciones climáticas causan sobre los ecosistemas marinos están siendo estudiados en detalle debido a las implicancias ecológicas, sociales y económicas que provocan. En términos generales, estas oscilaciones, como las que caracterizan los fenómenos Modo Anular del Sur (o SAM por sus siglas en inglés: Southern Annular Mode), El Niño y su subsiguiente La Niña, llevan a una reducción en la productividad primaria oceánica (Glynn, 1988; Barber y Chávez, 1991). A fines de la década del '80 y comienzos del '90, se han documentado fluctuaciones climáticas en el ecosistema marino antártico que han coincidido con la presencia de algunos de estos fenómenos, e. g., El Niño o La Niña registrados en latitudes más bajas. Por ejemplo, en el verano 1987-

Recibido: 10/10/12 – Aceptado: 25/09/13

88, ocurrió una fuerte sequía en el extremo sur sudamericano que coincidió con un evento de La Niña, provocando que algunas aves continentales migraran hacia el sur, tal vez en busca de condiciones más favorables, siendo luego arrastradas hacia Antártida por los fuertes vientos, como el Cisne de cuello negro, *Cygnus melanocoyphus* (Lange y Naumann, 1990; Orgeira y Fogliatto, 1991, entre otros). Simultáneamente, en enero de 1988, ocurrieron dos fenómenos importantes relacionados con incrementos en la temperatura del aire: una gran ruptura de la Barrera de Hielos Filchner y la ausencia de hielo de origen marino en el Mar de Weddell, vasta región oceánica al este de la península antártica, usualmente cubierta por hielo todo el año (Orgeira, 1994).

Zazulie *et al.* (2010) han publicado las observaciones climáticas en las Islas Orcadas del Sur. Sus resultados confirman un incremento sostenido en la temperatura del aire de 2º C en verano y de hasta 5 º C en invierno desde la década de 1950 hasta 2008. También han demostrado que estos incrementos térmicos se han producido en localidades antárticas separadas por un fuerte gradiente latitudinal, demostrando que se trata de un fenómeno a escala continental cuyos efectos se acentuaron a partir de la década de 1950.

Las aves marinas antárticas son predadores tope dentro del ecosistema marino antártico. Tanto ellas como sus recursos tróficos habitan masas de agua de características muy específicas en términos de salinidad, oxígeno disuelto y temperatura, entre otros parámetros. Si ocurren oscilaciones térmicas que llevan a la modificación de las propiedades de las corrientes marinas, tal como sucede en latitudes más bajas, es entonces indudable algún tipo de cambio en las especies que las habitan (Ribic *et al.,* 1992). Esto es así porque cuando se producen desbalances oceanográficos y climáticos, éstos operan sobre la totalidad de los niveles tróficos (Chambers *et al.*, 2005), manifestándose por diferentes vías: cambios en la distribución de las especies, en la densidad poblacional, fenología, interacciones comunitarias, etc. (Trathan *et al.*, 2007). Este tipo de respuesta es la que se ha observado y documentado en el Mar del Scotia, un amplio espacio marítimo al norte de Antártida que incluye las Islas Orcadas del Sur.

El Instituto Antártico Argentino está desarrollando un programa de monitoreo del ecosistema marino a largo plazo que incluye censos de aves pelágicas a bordo de buques. El Mar del Scotia es una de las zonas más intensamente cubiertas. En las temporadas de verano 2010 y 2011 se registraron incrementos de temperaturas del aire y mar y ausencia casi total de hielo. El objetivo de este trabajo fue determinar si ocurrieron cambios en las distribuciones y abundancias de las aves marinas pelágicas del Mar del Scotia en coincidencia con estas fluctuaciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Mar del Scotia es una región marítima de unos 157000 km^2 ubicada entre los paralelos 58º a 64º S y meridianos 35º a 50º W aproximadamente (Fig. 1). Esta zona se encuentra bajo la influencia de dos importantes masas de agua: al norte, la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) y al sur el Giro del Mar de Weddell. La CCA fluye a lo largo de todo el Mar del Scotia y es la principal responsable de aportes de grandes cantidades de plancton desde otras regiones antárticas (Hofmann *et al.,* 1997), mientras que el Giro del Mar de Weddell lleva nutrientes desde las profundidades a la superficie. Se suman, además, las comunidades planctónicas asociadas a los hielos provenientes del Mar de Weddell, aportando más elementos a la trama trófica antártica. Por estos motivos, el Mar del Scotia ha sido considerado una de las áreas biológicamente más ricas del océano austral. El archipiélago de las Islas Orcadas del Sur, conformado por las islas Laurie y Coronación como las principales, constituye la única porción terrestre disponible para la nidificación y reproducción para aves y mamíferos en un área aproximada de 245 mn^2. Este conjunto de características oceano-

gráficas, climáticas y geográficas hace de ésta una región única en Antártida en términos de biomasa y biodiversidad que, en cuanto a su avifauna, se refleja en una particular comunidad de aves marinas pelágicas formada por especies antárticas y subantárticas.

Metodología

La metodología usada para los censos de aves a bordo de buques es una adaptación de la propuesta por Tasker *et al.*, (1984), con modificaciones menores como se describen en Orgeira (2002). Consiste en censos de 10 min de duración seguidos de un intervalo de otros 10 min durante el período de luz mientras el buque se encuentra navegando. Las observaciones fueron realizadas desde el puente de los buques por un observador cumpliendo turnos de 4 horas, al término de las cuales era reemplazado por otro. Se registraron riqueza de especies, sus abundancias

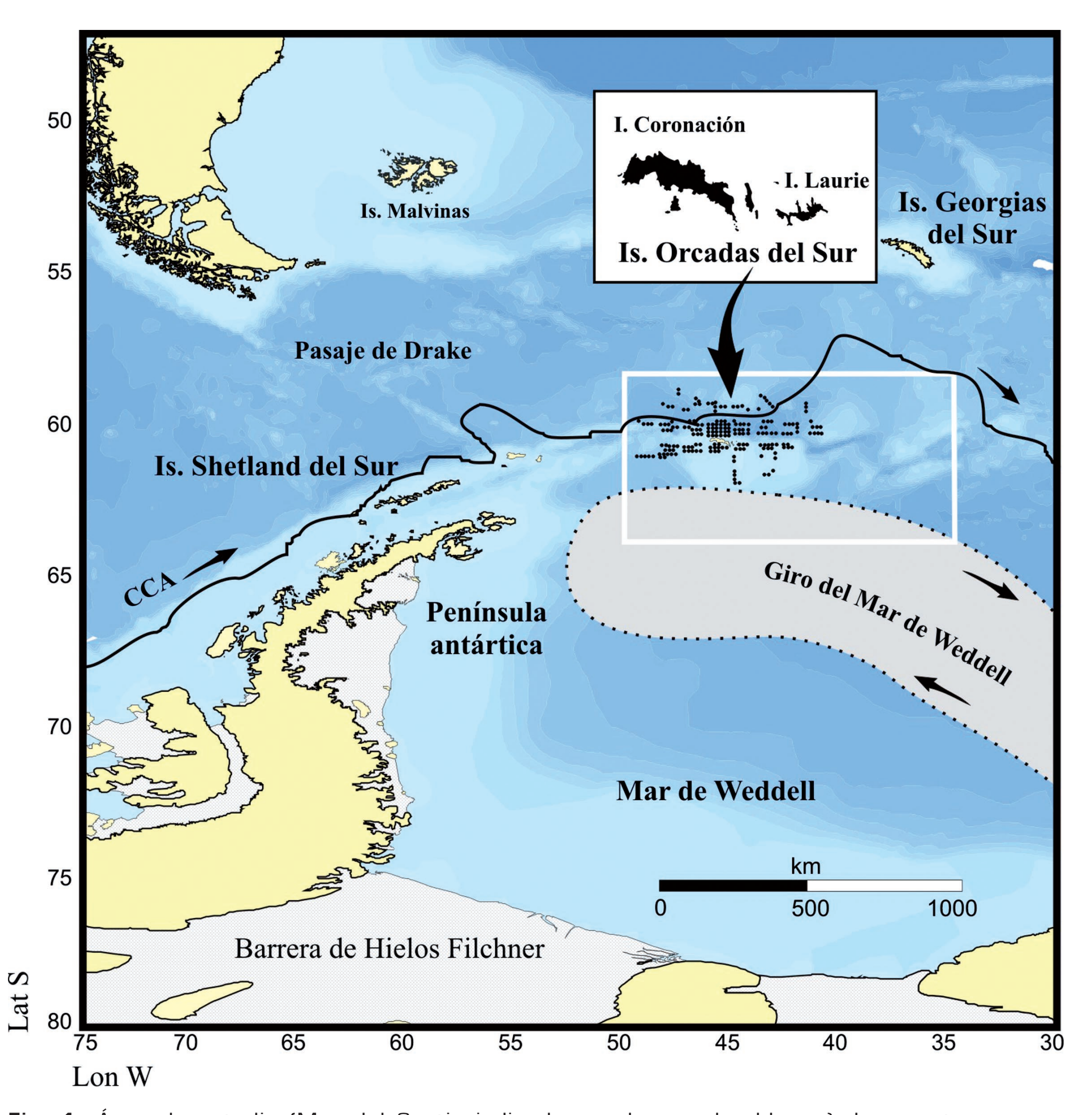


Fig. 1. Área de estudio (Mar del Scotia indicado en el recuadro blanco). Los puntos negros dentro del recuadro indican el esfuerzo de muestreo para las temporadas de verano 1995, 1996, 2010 y 2011 (N = 617, más detalle en Métodos). CCA: Corriente Circumpolar Antártica. Las flechas sobre las corrientes indican la dirección del flujo.

y actividad al momento del censo. Fueron incluidas todas las aves observadas a una distancia aproximada de 500 m a ambos lados del buque y hacia proa. Para evitar la sobreestimación de individuos, los censos se desarrollaron cuando la velocidad del buque fue mayor o igual a 6 nudos (aproximadamente 11 km/h). Para las observaciones se utilizaron binoculares 10 x 40. Las trayectorias seguidas por los buques dentro del área de estudio fueron diferentes en cada temporada, pero se consideraron para el análisis todos los censos de 10 min realizados dentro del siguiente cuadrante geográfico: Lat S: 58º00' a 62º59' y Lon W: 40º00' a 48º59' (Fig. 1). La nomenclatura de las especies fue la utilizada por Harrison (1987) y del Hoyo *et al.* (1992). Para cada período de 10 min fueron registradas la temperatura del aire y temperatura superficial del mar (en adelante TA y TSM, respectivamente), aportadas por las centrales meteorológicas del buque. La cobertura de hielo presente al momento del censo fue estimada en porcentajes por los observadores. La información fue recabada en febrero y marzo de 1995 y 1996 a bordo del rompehielos Almirante Irízar y en febrero y marzo de 2010 y 2011 en el buque oceanográfico Puerto Deseado.

Análisis estadístico

Se calcularon para las cuatro temporadas las siguientes variables: porcentaje de cobertura de hielo, temperatura del aire y temperatura en la superficie del mar. Para el caso de variables cuantitativas se compararon sus promedios mediante un análisis de varianza y test Tukey para las pruebas a posteriori. En el caso de variables nominales como presencia de hielo de un tipo particular, se procedió a comparar las proporciones de conteos con dicha característica con respecto a la temporada 1995.

La comunidad de aves marinas pelágicas de esta zona está conformada por aproximadamente 30 especies de las cuales solo seis representan más del 70 % de la abundancia total: A. Petrel damero, *Daption capense*; B. Petrel de las tormentas, *Oceanites oceanicus*; C. Petrel plateado, *Fulmarus glacialoides*; D. Albatros ceja negra, *Thalassarche melanophris*; E. Prión antártico, *Pachyptila desolata*; F. Petrel barba blanca *Procellaria aequinoctialis* (Fig. 2). Estas especies han contribuido con una abundancia no menor al 10 % de la abundancia total registrada para cada una de las temporadas. Las abundancias fueron transformadas a log (abundancia + 1), pero a falta de homogeneidad en la varianza, se compararon sus promedios entre temporadas mediante un análisis de varianza no paramétrico (H: Kruskal-Wallis). Se elaboró una curva de dominancia basada en el promedio de log de proporción de cada especie en los censos para cada temporada. Así, promedio

$$\overline{P}_{ij} = \sum_{j=1}^{m_{t_t}} \frac{p_i}{m}$$

con

$$pi = \frac{\log n_{ijT}}{\log n_{+jT}}$$

donde i es la especie, j es el conteo correspondiente a la temporada T y n_+ es el total de individuos de todas las especies registradas en el conteo j con m correspondiente al total de conteos de una temporada dada. Esta representación es una modificación de la curva de dominancia-diversidad o modelo de Whittaker (1965; 1972) donde, para cada temporada, las especies son ordenadas de mayor a menor importancia. Esta forma de presentar la información tiene numerosas ventajas. Conserva la identidad de las especies, permitiendo evaluar la importancia de cada una dentro de la comunidad (García, 1995) a lo largo de períodos de tiempo determinados. Permite analizar el recambio de especies en el tiempo, un aspecto importante en términos ecológicos si en la comunidad bajo estudio se supone la presencia de especies claves o bioindicadoras. Durante los censos se observó que las especies presentan un efecto de agregación en su disposición espacial: del total de conteos el 69 %, 81 %, 60 %, 64 % y 55 % fueron nulos para el albatros de ceja negra, petrel damero, petrel plateado, prión

antártico y petrel de las tormentas, respectivamente. Este modelo de curva de dominancia-diversidad es más efectivo para visualizar la disposición real de las especies en la comunidad porque tiene en cuenta aquellas que aparecen en pocos conteos pero con una alta abundancia. Se realizaron en total cuatro curvas, una por temporada. Todos los análisis estadísticos fueron hechos usando el paquete estadístico INFOSTAT.

RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 617 censos de 10 min para todo el período de estudio con 119 censos para el verano de 1995, 184 para

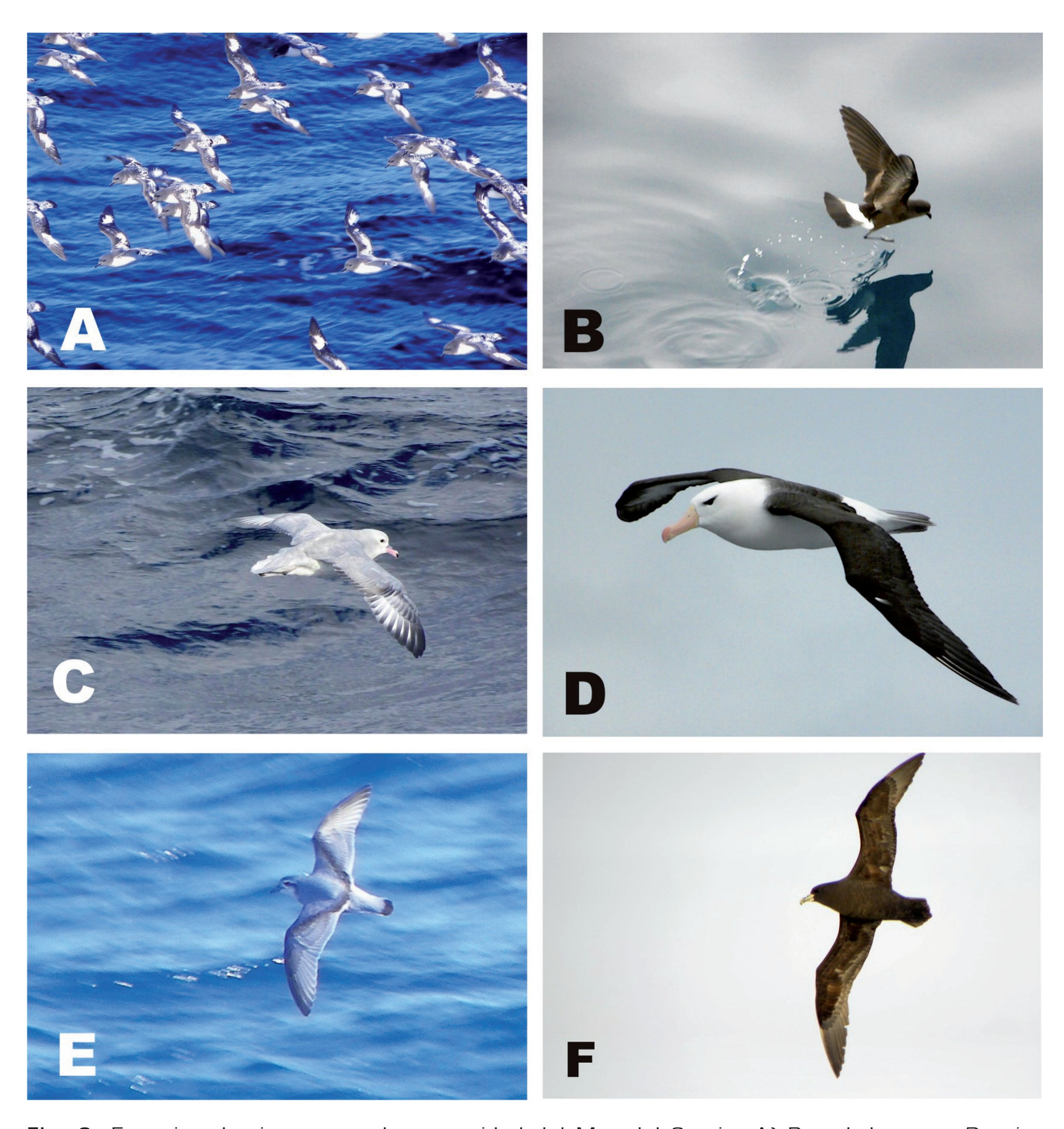


Fig. 2. Especies dominantes en la comunidad del Mar del Scotia: A) Petrel damero, *Daption capense* (DCAP); B) Petrel de las tormentas, *Oceanites oceanicus* (OOCE); C) Petrel plateado, *Fulmarus glacialoides* (FGLA); D) Albatros ceja negra, *Thalassarche melanophris* (DMEL); E) Prión antártico, *Pachyptila desolata* (PDES); F) Petrel barba blanca, *Procellaria aequinoctialis* (PAEQ). Fotos: José Luis Orgeira.

1996, 107 para 2010 y 207 para 2011 (Tabla 1). En los veranos de 1995 y 1996 la TSM fue negativa, la TA cercana a cero y se registraron porcentajes variables de hielo. Por el contrario, en los veranos 2010 y 2011, la TSM y TA fueron positivas y hubo ausencia casi total de hielo (Fig. 3). Las seis especies estudiadas mostraron cambios en sus abundancias y en las posiciones de dominancia entre temporadas. Uno de los aspectos más notables es el gradual aplastamiento de las curvas, lo cual indica una pérdida de dominancia de la comunidad a lo largo del período de estudio (Fig. 4). Ello evidencia una caída en el número poblacional de la mayoría de las especies que conforman esta comunidad. Las especies que han registrado mayor decremento fueron *D. capense* (petrel damero), *F. glacialoides* (petrel plateado) y *O. oceanicus* (petrel de las tormentas), todas consumidoras de krill antártico *Euphausia superba*. *Daption capense* y *O. oceanicus* presentaron cambios significativos entre ambas décadas; sus abundancias decrecieron 67 % y 45 % respectivamente. Aunque *F. glacialoides* tuvo un incremento entre 1995 y 2010, de 2010 a 2011 disminuyó 69 %. *Thalassarche melanophris* y *P. desolata* no mostraron diferencias significativas de sus abundancias entre temporadas, mientras que *P. aequinoctialis* aumentó 400 % entre 2005 y 2011. Atribuimos los cambios observados en las abundancias a dos procesos: cambios de hábitat por otros más óptimos donde el alimento es más abundante y disponible (cambios en la distribución habitual de las especies) y fracaso o interrupción de los procesos reproductivos ante condiciones ambientales adversas.

DISCUSIÓN

Efectos del calentamiento

Este estudio comprende dos temporadas de verano separadas de otras dos por un período de 14 años en los que no fueron recabados datos in situ. Sin embargo, se posee una detallada información del comportamiento de las variables ambientales para este período, en particular, de la temperatura del aire. Zazulie *et al.* (2010) han recopilado y publicado las temperaturas del observatorio meteorológico de las Islas Orcadas del período 1903 a 2008. Sus conclusiones confirman un calentamiento de 2º C para el verano y de hasta 5º C para otoño e invierno, lo que constituye la mayor tendencia del planeta para todo el siglo XX. Los registros

Tabla 1. Logaritmos (log) de abundancias + 1 desvío estándar de las seis especies comparadas entre temporadas. Medias con letras en super índice diferentes son significativamente diferentes (test de Kruskal-Wallis, $p < 0{,}05$).

Especie (log)	Estadístico	1995 (N = 119)	1996 (N = 184)	2010 (N = 107)	2011 (N = 207)
Petrel damero	H = 65,02 gl = 2	$0{,}58^{a} \pm 0{,}60$	$0{,}57^{a} \pm 0.66$	$0{,}19^{b} \pm 0.43$	$0{,}19^{b} \pm 0.40$
Petrel de las tormentas	H = 29,09 gl = 2	$0{,}29^{a} \pm 0{,}38$	$0{,}31^{a} \pm 0.31$	$0{,}17^{b} \pm 0.28$	$0{,}16^{b} \pm 0.24$
Petrel plateado	H = 35,22 gl = 2	$0{,}26^{a} \pm 0{,}34$	$0{,}30^{ab} \pm 0.49$	$0{,}22^{b} \pm 0.49$	$0{,}08^{c} \pm 0.25$
Albatros de ceja negra	H = 3,01 gl = 2	0,08 ± 0,16	0,09 ± 0.21	0,04 ± 0.10	0,07 ± 0.15
Prión antártico	H = 5,18 gl = 2	0,23 ± 0,42	0,30 ± 0.46	0,24 ± 0.52	0,26 ± 0.39
Petrel barba blanca	H = 18,01 gl = 2	$0{,}02^{a} \pm 0{,}07$	$0{,}01^{a} \pm 0.06$	$0{,}01^{a} \pm 0.06$	$0{,}08^{b} \pm 0.16$

de Zazulie *et al.* (2010) coinciden con el incremento sostenido en las temperaturas y la reducción del hielo marino registrados en el segundo período de este estudio (2010-2011). Una de las consecuencias del calentamiento sobre los océanos es la reducción de la productividad primaria, porque se alteran los patrones de ascenso y advección y porque

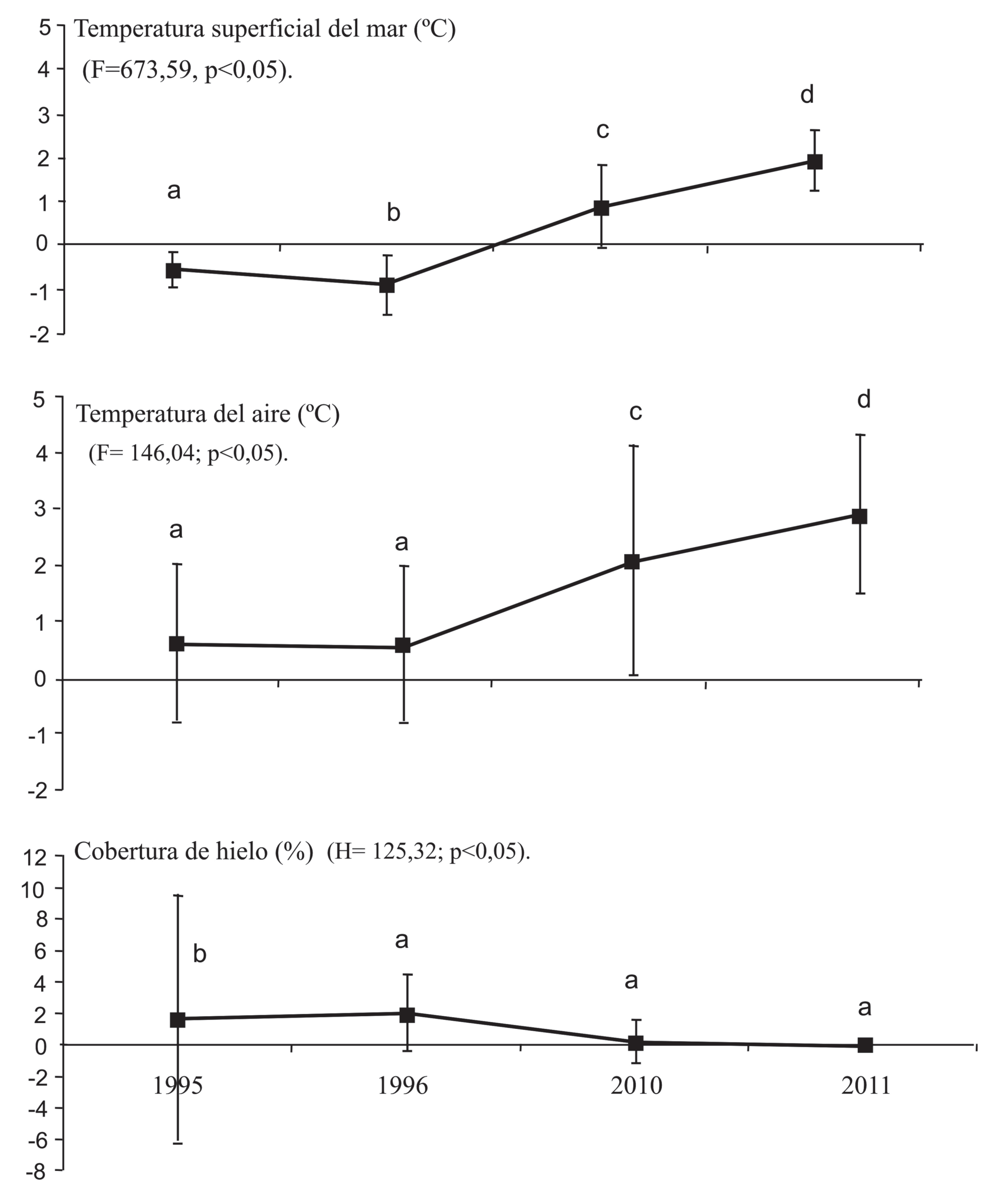


Fig. 3. Comportamiento de variables ambientales en el área de estudio. Los valores están expresados en promedio y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

el derretimiento del hielo marino reduce el reclutamiento del krill junto con toda la fauna planctónica asociada al mismo (Moline *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2012). La abundancia de krill es mayor después de inviernos con grandes cantidades de hielo comparada con inviernos con poca cantidad de hielo (Zuur *et al.*, 2009). Todos estos cambios se transmiten hacia la totalidad de la red trófica (Chambers *et al.*, 2005; Veit y Montevecchi, 2006) incluidos los predadores tope como las aves marinas, las cuales resultan impactadas indirectamente a través de los cambios en la abundancia y disponibilidad de sus recursos tróficos.

Variaciones de abundancia de las especies

Daption capense (petrel damero, Fig. 2A, DCAP, Fig. 4). Desde el inicio del Programa de Monitoreo de aves marinas en la temporada 1986/87, *D. capense* ha sido la especie dominante en la comunidad de aves del Mar del Scotia (Orgeira, 2002). Las observaciones obtenidas en 2010 y 2011 constituyen los primeros registros de pérdida de su posición de dominancia en esta comunidad de aves marinas pelágicas. Sugerimos que la baja abundancia y disponibilidad del alimento causada por el incremento térmico y la ausencia de hielo influyeron negativamente en sus procesos reproductivos y en su consecuente tasa poblacional. *Daption capense* ha sido designada «especie indicadora» por la CCAMLR (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources) y como tal se asume que refleja cambios en la disponibilidad del krill *E. superba* (CCAMLR, 1985). La evolución de su estado poblacional tiene importantes implicancias ecológicas ya que está reflejando cambios en la estructura del ecosistema del Mar del Scotia.

Oceanites oceanicus (petrel de las tormentas, Fig. 2B, OOCE, Fig. 4). Especie ampliamente distribuida en todo el archipiélago (Watson, 1975) cuyo estatus poblacional en la Isla Laurie no ha sido determinada a causa de la dificultad en la localización de sus nidos. Su distribución en el mar está condicionada por la presencia de hielo, ya que se alimenta de krill en las interfases hielo-agua (Orgeira, 2002). Las interfases hielo-agua o espacios entre bordes de hielo se comportan como ergoclinas favoreciendo el desarrollo

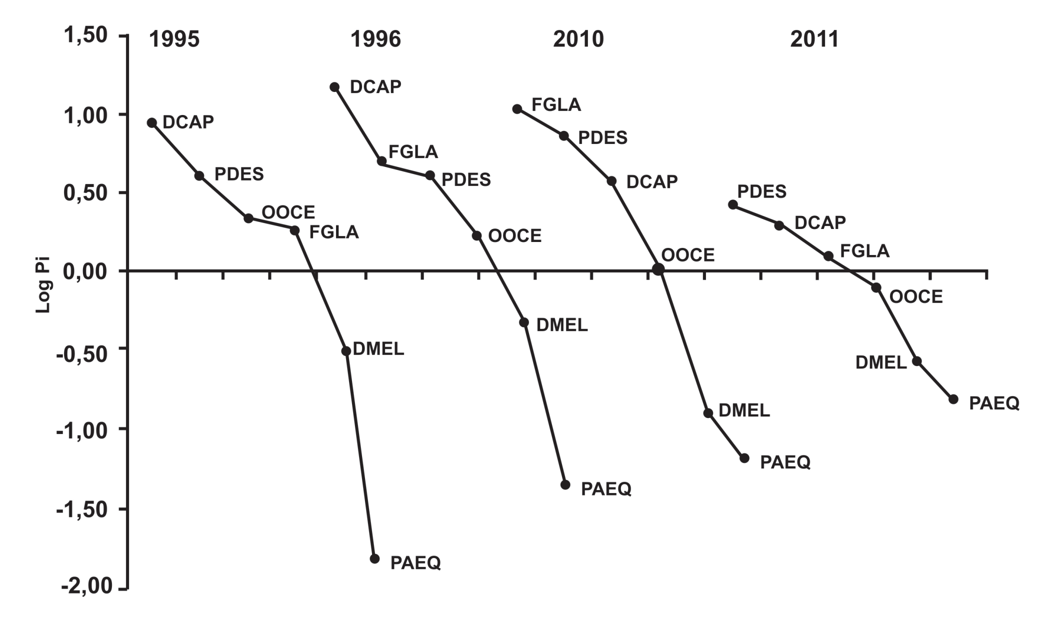


Fig. 4. Distribución de especies y sus dominancias en las temporadas de verano. Las siglas de las especies corresponden a las de la Fig. 2.

de una importante comunidad de organismos planctónicos (Ferreyra y Schloss, 1993). En nuestro estudio, *O. oceanicus* fue la única especie que tuvo decrementos constantes entre años y entre ambos períodos. El bajo porcentaje de hielo registrado en el segundo período de estudio pudo haber obligado a parte de la población nidificante en las Is. Orcadas del Sur a desplazarse hacia latitudes más altas en busca de áreas de forrajeo óptimas.

Fulmarus glacialoides (petrel plateado, Fig. 2C, FGLA, Fig. 4). Fue la especie con mayor decremento en el último año de estudio (69 %) aun con los altos valores registrados en 2010. Jenouvrier *et al.* (2003) han estudiado sus poblaciones durante 39 años en Antártida, encontrando que en ocasiones esta especie interrumpe su período reproductivo, con la consiguiente caída en sus tasas poblacionales. Ello ocurre ante condiciones ambientales adversas como calentamiento ambiental que provoca una reducción del alimento disponible, por lo que se asume que la especie no está en condiciones de enfrentar el gasto energético que requiere el proceso reproductivo. Esta particular dinámica poblacional explica la fuerte caída en las abundancias registrada en 2011 (temporada con las mayores fluctuaciones térmicas) pero no explica los altos valores de la temporada 2010. El 27 de febrero de 2010, mientras se navegaba por una zona de campo de hielos al NW de las Is. Orcadas del Sur, se registró una gran bandada estimada en no menos de 1000 individuos a los 64º 42'S, 46º 58'W en actitud de alimentación. La presencia ocasional de hielo, escaso en esa temporada, podría haber atraído parte de la población nidificante en las islas, la que se concentró para alimentarse, siendo ésta una posible explicación del incremento de 2010. Este es el único registro conocido de una concentración tan numerosa de *F. glacialoides* para el Mar del Scotia. *Fulmarus glacialoides* es una especie cuyo hábitat preferencial son aguas frías con diferentes tipos de hielo, donde se alimenta principalmente de krill y otros eufáusidos asociados al hielo (del Hoyo *et al.*, 1992). Por lo tanto, se asume que es una de las especies más impactadas ante fenómenos de fluctuaciones climáticas.

Thalassarche melanophris (albatross ceja negra, Fig. 2D, DMEL, Fig. 4). Los individuos registrados en el Mar del Scotia provienen en su mayor parte de las grandes colonias situadas en las Islas Malvinas y las Islas Georgias del Sur. Como especie visitante en Antártida, posee un amplio nicho ecológico que le permite alternar entre hábitat que presenten las condiciones más óptimas para su ciclo de vida, por lo que sus variaciones de abundancia no resultaron estadísticamente significativas.

Pachyptila desolata (prión antártico, Fig. 2E, PDES, Fig. 4). Su hábitat preferencial son aguas libres de hielo; se alimenta de krill y de otros crustáceos, peces y calamares (del Hoyo *et al.*, 1992). Esta amplitud de nicho trófico, junto con su independencia del hielo marino para su ciclo de vida, parece haber minimizado el impacto de las fluctuaciones climáticas sobre sus poblaciones, desplazando además a *D. capense* como especie dominante en el segundo período de estudio.

Procellaria aequinoctialis (petrel barba blanca, Fig. 2F, PAEQ, Fig. 4). Es una especie de distribución circumpolar a través del Océano Atlántico Sur (Onley y Scofield, 2007), de hábitats marinos y pelágicos, prefiriendo aguas costeras sobre la plataforma continental (del Hoyo *et al.*, 1992). Fue la única especie con un inusual incremento en su abundancia de 400 % aportado, posiblemente, por individuos provenientes de latitudes más bajas. Las atípicas condiciones ambientales registradas en 2010-2011 han favorecido su expansión hacia Antártida en términos de distribución y abundancias. Cambios en la distribución y abundancias de *P. aequinoctialis* ante el calentamiento de los océanos han sido reportados previamente. Péron *et al.* (2010) han descrito cómo los incrementos de temperatura superficial del mar influyen sobre la distribución de ésta y otras especies indirectamente a través de la abundancia y disponibilidad de sus presas.

Las aves marinas como indicadoras del estado de salud del ecosistema

Las variaciones de abundancia y de distribución de las aves marinas registradas en 2010 y 2011 con respecto a 1995 y 1996, se manifestaron en forma simultánea a los cambios en las temperaturas y cobertura de hielo. Esto muestra la vulnerabilidad de las aves marinas a los cambios ambientales. Al respecto, Trathan *et al.* (2007) han propuesto una interesante hipótesis. Según estos autores, una vez que los cambios ambientales se disparan y afectan la trama trófica marina, sus efectos continuarían observándose durante las siguientes décadas. Si esto es correcto, los cambios en las comunidades del Mar del Scotia observados en el período que cubre este trabajo pudieron iniciarse años antes. Zazulie *et al.* (2010) han demostrado que los mayores incrementos térmicos se produjeron a partir de la década de 1950, por lo que las variaciones en abundancias y diversidad que estamos observando ahora serían la continuidad del proceso, no el inicio. El panorama que se presenta no parece optimista, ya que: a) las variaciones de abundancias y de distribución de las aves son consecuencias de cambios en las propiedades de las masas de agua que contienen su alimento; b) estos cambios pudieron iniciarse décadas atrás y aun se están manifestando; c) las abundancias de las especies consumidoras de krill han mostrado caídas sostenidas, por lo que es probable que esta tendencia se mantenga o incluso acentúe en las próximas temporadas de verano.

CONCLUSIONES

Los datos presentados en este trabajo son parciales porque provienen de un proyecto aun en ejecución y se espera recabar más información para los próximos cinco años. No obstante, han demostrado que las aves marinas, en particular las consumidoras de krill, resultan vulnerables a fluctuaciones climáticas; que estas respuestas son similares a las reportadas en otras regiones oceánicas ante las mismas variaciones ambientales y que es posible, por lo tanto, predecir el comportamiento de las especies ante fluctuaciones recurrentes. Zazulie *et al.* (2010) han calculado que el calentamiento actual en el área de estudio es aproximadamente el doble de lo registrado antes de la década de 1970, sugiriendo la existencia de un calentamiento adicional debido a los efectos del agotamiento del ozono. Ante este panorama, se esperan más alteraciones en el ecosistema marino. Los futuros esfuerzos de monitoreos se enfatizarán, por lo tanto, sobre las especies más vulnerables a los cambios para evaluar su grado de impacto y proveer información para planes de conservación.

AGRADECIMIENTOS

A la Armada Argentina y las tripulaciones del rompehielos Almirante Irízar en las campañas antárticas de verano 1995-1996 y del buque oceanográfico Puerto Deseado en las campañas 2010 y 2011, quienes prestaron su valioso apoyo logístico. A los revisores anónimos por sus sugerencias y aportes. A Celina I. Navarro, quien colaboró con la lectura crítica del manuscrito. Este trabajo fue realizado con el soporte logístico y financiero del Instituto Antártico Argentino.

LITERATURA CITADA

Barber, R. T. y Chávez, F. P. 1991. Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific. Limnology and Oceanography, 36 (8): 1803-1815.

CCAMLR (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources). 1985. Report of the fourth meeting of the Scientific Committee, Annex 7. Report Ad hoc Working Group on Ecosystem Monitoring, SC-CCAMLR-IV, Hobart, Australia.

Chambers, L. E., Hughes, L. y Weston, M. A. 2005. Climate change and its impact on Australia's avifauna. Emu, 105: 1-20.

del Hoyo, J., Elliott, A. y Sargatal, J. 1992. Handbook of the birds of the World. Ostrich to ducks (Vol. I). Linx Editions, Barcelona.

Ferreyra, G. A. y Schloss, I. R. 1993. Campaña Irizar 1988/89 – datos preliminares proyectos frentes oceánicos antárticos (FOCA). Contribución del Instituto Antártico Argentino Nº 413.

Flores, H., Atkinson, A., Kawaguchi, S., Krafft, B. A., Milinevsky, G., Nicol, S., Reiss, C., Tarling, G. A., Werner, R., Bravo Rebolledo, E., Cirelli, V.,

Cuzin-Roudy, J., Fielding, S., Groeneveld, J. J., Haraldsson, M., Lombana, A., Marschoff, E., Meyer, B., Pakhomov, E. A., Rombolá, E., Schmidt, K., Siegel, V., Teschke, M., Tonkes, H., Toullec, J. Y., Trathan, P. N., Tremblay, N., Van de Putte, A. P., van Franeker, J. A. y Werner T. Impact of climate change on Antarctic krill. 2012. Marine Ecology Progress Series, 458: 1-19.

García, R. D. 1995. Diversidad florística de los petenes de Campeche. Acta Botánica Mexicana, 31: 73-84.

Glynn, P. W. 1988. El Niño-Southern Oscillation 1982-83: Nearshore population, community, and ecosystem responses. Annual Review of Ecology and Systematics, 19: 309-345.

Harrison, P. T. 1987. A Field Guide to Seabirds of the World. Stephen Green Press, Lexington, Massachusetts.

Hofmann, E. E., Klinck, J. M., Locarnini, R. A., Fach, B. y Murphy, E. 1997. Structure of the Antarctic circumpolar current in the South Atlantic with implications for biological transport. Documento del CCAMLR WG-EMM-97/67.

Jenouvrier, S., Barbraud, C. y Weimerskirch, H. 2003. Effects of climate variability on the temporal population dynamics of Southern fulmars. Journal of Animal Ecology, 72: 576–587.

Lange, von U. y Naumann, J. 1990. Weitere erstnachweise von vogelarten im südwesten von King George Island (Südshetland Inseln, Antarktis). Beitraege Zur Vogelkunde., 36: 165-170.

Moline, M. A., Claustre, H., Frazer, T. K., Schofields, O. y Vernet, M. 2004. Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. Global Change Biology, 10: 1973–1980.

Onley D. y Scofield P. 2007. Albatrosses, Petrels & Shearwaters of the World. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Orgeira, J. L. 1994. Distribución de las aves antárticas y subantárticas. Contribución del Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico, Buenos Aires, 438: 1-21.

Orgeira, J. L. 2002. Ecología y distribución de aves antárticas. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Orgeira, J. L. y Fogliatto, O. N. 1991. The black-necked swan *Cygnus melanocoryphus*, in Antarctica. Marine Ornithology, Cape Town, 19 (2): 140-143.

Péron, C., Authier, M., Barbraud, C., Delord, K., Besson, D. y Weimerskirch, H. 2010. Interdecadal changes in at-sea distribution and abundance of subantarctic seabirds along a latitudinal gradient in the Southern Indian Ocean.

Ribic, C. A., Ainley, D. G. y Spear, L. B. 1992. Effects of El Niño and La Niña on seabird assemblages in the Equatorial Pacific. Marine Ecology Progress Series, 80: 109-124.

Tasker, M. L., Jones, P. H., Dixon, T. y Blake, B. F. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. Auk, 101: 567-577.

Trathan, P. N., Forcada, J. y Murphy, E. J. 2007. Environmental forcing and Southern Ocean marine predator populations: effects of climate change and variability. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 362: 2351-2365.

Veit, R. R. y Montevecchi, W. 2006. The influences of global climate change on marine birds. Acta Zoologica Sinica, 52(Supplement): 165–168.

Watson, G. E. 1975. Birds of the Antarctic and Sub-Antarctic. American Geophysical Union., Washington, D.C.

Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. Science, 147: 250-260.

Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon, 21: 213-251.

Zazulie, N., Rusticucci, M. y Solomon, S. 2010. Changes in climate at high Southern latitudes: Unique daily records at Orcadas Spanning 1903-2008. Journal of Climate, 23: 189-196.

Zuur, A. F., Barbraud, C., Ieno, E. N., Weimerskirch, H., Smith, G. M. y Walker, N. J.. 2009. Estimating trends for Antarctic birds in relation to climate changes. Mixed effects models and extensions in Ecology with R. Statistics for Biology and Health. DOI 10.1007/978-0-387-87458-6_14. Springer+Business Media.